

ТЕХНОЛОГИЧНИ ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА МАКСИМАЛНО РАЗКРИВАНЕ НА РУДНИТЕ МИНЕРАЛНИ ФАЗИ ПРИ ЗЪРНОМЕТРИЧНАТА ПОДГОТОВКА НА СУРОВИНАТА В ОФ „АСАРЕЛ“

Марин Ранчев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", катедра "Обогатяване и рециклиране на суровини", inishkov@gmail.com

РЕЗЮМЕ. В минерално-суровинният отрасъл, зърнометричната подготовка (трошене, смилане, пресяване, класиране и др.) е съществен етап при преработката на суровините, поради необходимостта от разкриване на ценните компоненти от скалните (стерилни съставки) примеси. Същността на зърнометричната подготовка, би могла също така да се опише като процес на образуване на нови минерални повърхности с дефиниран размер. Максималното разкриване на рудните минерални фази е от съществено значение за основните процеси на сепарация, като флотация, гравитационни, магнитни или електрически методи на обогатяване. Целта на настоящата статия е да се представят част от получените резултати, анализи и препоръки, след извършения през 2014 год. технологичен одит на цикъл „Зърнометричната подготовка на рудата“ в обогатителна фабрика „Асарел“. Обхватът на изследването включва разработване на методики за опробване на основните технологични потоци в цикъла на зърнометрична подготовка в ОФ „Асарел“, анализ и обработка на получените данни, въз основа на които са направени коментари и предложения обхващащи възможните технологични подходи за максимално разкриване на рудните минерални фази от което силно зависи качеството на флотационния процес.

Ключови думи: разкриване, рудни минерални фази, технологичен одит, зърнометрична подготовка

TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES FOR MAXIMUM MINERAL LIBERATION IN THE COMMINUTION CIRCUIT OF ASSAREL CONCENTRATOR

Marin Ranchev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Department of Mineral Processing and Recycling, inishkov@gmail.com

ABSTRACT. The comminution circuit (crushing, grinding, screening, classification etc.) in the mineral processing industry, could be qualify as a significant stage during the processing of the mineral raw materials, due to the necessity of the valuable minerals liberation from the gangue. Furthermore, the character of the comminution technologies could be described as a process of formation of newly mineral surfaces with defined particle size. The maximum liberation of the valuable mineral surfaces it is of great importance for the conventional mineral-separation processes, such as flotation, gravity concentration, magnetic and electrical separation. The aim of this paper is to review a part of the results, analysis and recommendations, obtained after the accomplished technological audit of the comminution circuit in Assarel concentrator. The scope of the research includes a development of sampling procedures for representative sampling of the main process streams in the Assarel concentrator, analysis and data preparation, on the basis of which a comments and recommendations covering the feasible technological methods allowing a maximum liberation of the valuable minerals, from which the quality of the flotation process strongly depends.

Key words: liberation, valuable minerals, technological audit, comminution

Въведение

В цялата история на човешката цивилизация преработката на минерални суровини е свързана с произвеждането на по-ситни и по-фини размери на продукта от по-големите размери на началния материал (Мочев и Григорова, 2013).

На територията на България са известни редица медно-порфирни находища, които са разположени в 4 рудни района: Панагюрско-Етрополски, Ямболски, Софийски и Малкотърновски (Богданов, 1987). Меднопорфирното находище „Асарел“ е разположено в централната част на Асарел - Медетското рудно поле на около 5 km северозападно от град Панагюрище (Попов и др., 2012). Минералният състав на рудите е сравнително разнообразен, което се обуславя от развитието на първично-

сулфидни, вторичносулфидни и окисни руди (Богданов и Богданова, 1981); (Богданов, 1987); (Петрунов и др., 1991); (Страшимиров, 1992).

Понастоящем в обогатителна фабрика „Асарел“ се преработват над 14 млн. тона медни руди годишно. Преработваната суровина е със сравнително сложен минерален състав – високо съдържание на пирит и извънредно високо съдържание на глинести минерали. Аргилизити, пропицити и вторични кварцити са основните типове хидротермално променени вместиращи скали, характерни за находището. Тези три типа променени скали се различават както по зърнометричен, така и по минерален състав. След първично трошене в челюстни трошачки, глинестите агрегати се разрушават при процесите на промиване и частично автогенно смилане, осъществявани в отделение „Дезинтеграция“. Друга характерна черта на изходната руда е финото

разпределение на промишлените минерали, в резултат на което се изисква смилане на рудата преди флотация до едрина на зърната 80.00 % „-0.100 mm“. Всички тези обстоятелства определят сложната схема на зърнометрична подготовка на рудата с цел по ефективното разкриване на рудните минерални фази преди флотационния цикъл.

Точността на обследването на необходимите данни, зависи от целите на изследванията. Изучавания на цикъла на раздробяване обикновено се правят за да се генерират надеждни данни, които могат да бъдат оценени за да се определи как да се извърши едно относително подобрение на схемата на зърнометрична подготовка.

Целите на технологичния одит трябва да бъдат ясно установени, преди неговото планиране и провеждане. Те могат да включват утвърждаване работата на отделен възел (преди или след оптимизиране), анализ на цялостната технологична верига или събиране на данни с цел оценка на работните параметри. Изследванията могат да включват зърнометричен анализ на преработваните продукти (след трошене, смилане, пресяване и т.н.), масов баланс на класиращо устройство (хидроциклон) или цялостно опробване на технологичните потоци в обогатителната фабрика. Едно цялостно опробване би могло да се дефинира като изследване при което дебитите по маса, зърнометричния състав и съдържанието на твърда фаза във всеки един технологичен поток е възможно да бъдат определени.

Една от най-важните задачи, която всяко производство рано или късно среща е оптимизирането на въведените процеси и операции. Като пример за необходимостта от провеждането на опробване и анализ на технологичната схема на преработка, би могло да се посочи пускането в експлоатация през 2011 год. на обогатителна фабрика „Copper Mountain“ (Копер Маунтин), Принстон, Британска Колумбия, Канада (Rose et al., 2015). Схемата на зърнометрична подготовка в обогатителната фабрика състояща се от полуавтогенна мелница (ПАМ), конусна трощачка за критичната класа от ПАМ и две барабанни топкови мелници е проектирана да постига производителност от приблизително 1585.00 t/h. Още от самото начало, затрудненията които не позволяват на полуавтогенната мелница да постигне заложената производителност, налагат провеждането на изследвания, обхващащи взривните и добивните дейности, оптимизиране на ПАМ по отношение на размера на стоманените топки, плътност на пулпа, дизайн на разтоварващата решетка и други. Паралелно е извършено моделиране на схемата на зърнометрична подготовка със специализиран софтуер „JK Sim Met“, използващ специфичните параметри на рудата ($A * b$), определени след извършването на широко разпространения тест – JK Drop Weight Test (DWT), характеризиращ смилаността на рудата в условията на автогенно или полуавтогенно смилане.

Представителни проби от изходната руда, постъпваща на преработка, са отделени и изследвани, като стойностите на параметрите A и b след извършването на DWI теста, показват стойности около 24.00 за преобладаващите рудни литологии. Допълнително са извършени

тестове, като индекс на Бонд (BWI, kWh/t), с цел измерване смилаността на скалите, както и индекс на абразивност (A_i , g/t), показващ абразивната „сила“ на материала (Мочев и Григорова, 2013).

На база получените резултати, показващи наличието на изключително твърди руди в преработваната суровина както и благодарение на информацията получена след моделирането на технологичната схема със симулационния софтуер на JKTech се установява, че най-критичния фактор засягащ ефективността на работа и съответно производителността на полуавтогенната мелница е едрината (F_{80}) на захранващия продукт. След обсъждане и анализ на най-целесъобразните варианти за намаляване зърнометричния състав на постъпваща на полуавтогенно смилане суровина, в технологичната верига на обогатителна фабрика „Copper Mountain“ беше заложен допълнителен етап на натрошаване на рудата (pre-crushing) преди постъпването ѝ в полуавтогенната мелница. Предимствата на инсталираната конусна трощачка (XL 2000, FLSmidth) включват както увеличаване производителността на ПАМ до 1600 t/h, така и редуциране консумацията на смилачи топки, водещо до значително по-ниски оперативни разходи.

Освобождаването на минералите на ценния компонент от техните срастъци с други минерали е най-важната предпоставка за целенасоченото приложение на процесите на концентрация в техниката на обогатяване.

Оптимизирането на процесите на зърнометрична подготовка, като трошене, пресяване, смилане и класиране, и по този начин увеличаване съдържанието на зърната на разкритите рудни минерали, неминуемо ще доведе до повишаване извличането на ценните компоненти от преработваната суровина.

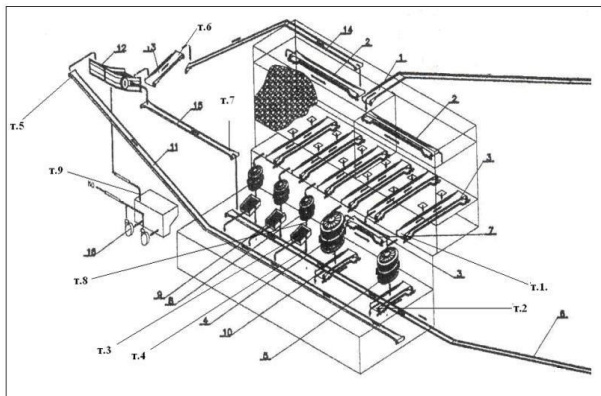
Основната цел на настоящата статия е да се представят част от получените резултати, анализи и препоръки, вследствие на извършения през 2014 год. технологичен одит на зърнометричната подготовка на суровината в обогатителна фабрика „Асарел“.

Методи и материали

Направен е пълен преглед на технологичната схема на цикъл „Зърнометрична подготовка на суровината“ в обогатителна фабрика „Асарел“. Разработени са методики за опробване, анализ и оценка на цикъл „Зърнометрична подготовка на суровината“, включващ основните технологични звена - Корпус „Едро трошене“, Отделение „Дезинтеграция“, корпус „Средно и ситно трошене“ (КССТ) и „Мелнично отделение“. Опробването на цикъла „Зърнометрична подготовка на суровината“ е извършено при оптимален режим на работа на съответните корпуси и отделения.

В разработените методики за опробване на технологичната верига, като един важен аспект за успешното решаване на поставените задачи е обърнато специално внимание на количеството на пробата, необходимо за постигане на желаната прецизност на измерването, с което се оценява показателя на качеството на опробвания

материал. Някои от основните технологични параметри заложи в експерименталните методики са както следва: влага на рудата (%); съдържание на твърда фаза в различните технологични потоци (%); зърнометричен състав; дебит на потоците (m^3/h); разход на електроенергия (kWh) и други. Примерна схема на апаратите с посочени точки на опробване, заложи в методиката за изследване на корпус "Средно и ситно трошене" е представена на фигура 1.



Фиг. 1. Верижна схема на апаратите в КССТ с посочени точки на опробване

С цел по-качествен анализ и пълна интерпретация на получените данни са построени следните графични зависимости:

- ❖ Зърнометрична характеристика на изследваните продукти;
- ❖ Острота на разделяне (Сечение на разделяне) при процесите на пресяване и класиране;
- ❖ Разделителни криви на Тромп (Tromp curve)

Сечение на разделяне (Острота на разделяне)

Интервалът на припокриване се дефинира като разстоянието между d_{min} за надситовия и d_{max} за подситовия продукт. Интервалът на припокриване може да служи за приблизителна оценка на ефективността на разделяне. Колкото е по-широк интервалът на припокриване, толкова е по-ниска „остротата на разделяне“ и обратно, което се явява като мярка за ефективността на работа на класиращото устройство.

С разделителна едрина, големина на разделителното зърно или сечение на разделяне, обозначаваме теоретичната стойност при идеална острота на разделяне, която обозначаваме като D_p . Като първо приближение можем да приемем стойността на размера, който съответства на средата на така определения интервал на припокриване.

Разделителни криви (Криви на Тромп)

В индустриален мащаб операциите на разделяне никога не протичат идеално. Това се дължи не само на различните времена на пребиваване на отделните зърна в работното пространство при непрекъснатите процеси, на колебания или други смущения при воденето на процеса, но също и условията на разделяне в работното пространство на машината.

Ефективността на разделяне може да бъде представена от наклона на разделителната крива или кривата на Тромп (Tromp Curve).

За по-прецизната оценка на разделителния процес се определя едрината на разделяне, както и количествата на „грешните“ зърна за изследвания продукт.

Въз основа на извършените изчисления и построените криви са определени следните показатели на остротата на разделяне (Gupta and Yan, 2006):

- ❖ Площ на „грешните“ зърна („грешно разтоварване“);
- ❖ Вероятност на Ecart Ep;
- ❖ Разсейване на зърната (k) и несъвършенство на разделяне (Imperfection - I)

Химичен и минераложки анализи

За изследване веществения състав на преработваната в обогатителна фабрика „Асарел“ руда са проведени микроскопски анализи в отразена светлина и химични анализи на представителни проби от трите типа руди, както и на проби от преливите на хидроциклоните, отделени при опробването на „Мелнично“ отделение.

Минераложките и химическите изследвания проведени върху образци от трите типа руди са разделени в седем зърнометрични класи ($- 3.0 + 2.0$ mm; $- 2.0 + 1.0$ mm; $- 1.0 + 0.40$ mm; $- 0.40 + 0.20$ mm; $- 0.20 + 0.10$ mm; $- 0.10 + 0.080$ mm и $- 0.080$ mm). Анализирани са представителни проби от финия продукт, постъпващ на флотация (слив хидроциклони), като характерните за потока зърнометрични класи, подложени на химически и минераложки анализи са както следва: $- 0.40 + 0.20$ mm; $- 0.200 + 0.100$ mm; $- 0.100 + 0.080$ mm; $- 0.080 + 0.045$ mm и $- 0.045 + 0.00$ mm.

Резултати и дискусия

Въз основа на резултатите от анализа на данните след извършеното опробване на цикъл „Зърнометрична подготовка на суровината“ в обогатителна фабрика „Асарел“, включващо детайлното изследване на корпус „Едро трошене“, отделение „Дезинтеграция“, корпус „Средно и ситно трошене“ (КССТ) и „Мелнично“ отделение, биха могли да бъдат представени следните по-важни изводи и коментари:

Корпус „Едро трошене“ работи стабилно и осигурява суровина със сходство във веществения състав и технологичните показатели - зърнометричен състав, влага и количество на рудата.

Зърнометричният състав на шихтованата руда в съотношение *аргилзити/вторични кварцити/пропилити* осигурява редуциране на процентното съдържание на едрите късове и сравнително по-равномерно разпределение на класите по едрина в постъпващата на трошене суровина. На фиг. 2 са показани отделените представителни проби от трите типа метасоматично променени орудени скали. На всяка представителна проба са определени: зърнометричен състав (D_{80}), влага на рудата

(%), химичен и минераложки анализи по класи. На фиг. 3 са представени зърнометричните характеристики на трите типа опробвани руди.

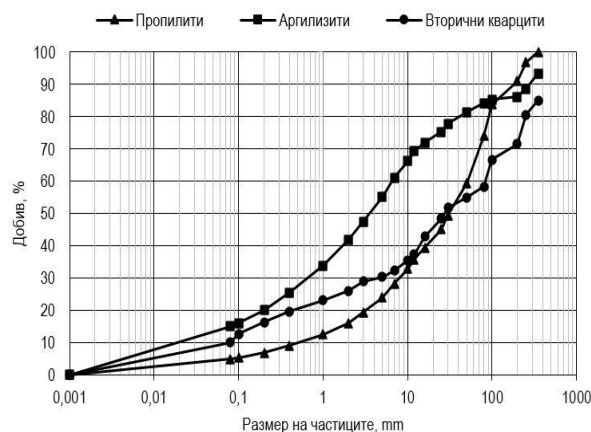
Основни носители на фините класи са аргилизитите и пропилитите. От извършения химически анализ на представителни проби от трите типа руди се установява високо съдържание на мед в три класи: $-0.40 + 0.20$ mm; $-0.20 + 0.10$ mm; $-0.10 + 0.080$ mm. Химичният състав на ситните фракции на аргилизитовата и пропилитовата проби, показват значително по-високо от номиналното съдържание на мед, като в първата преобладава в пъти повече.



Фиг. 2. Основни типове хидротермално променени вместващи скали, характерни за находище „Асарел“

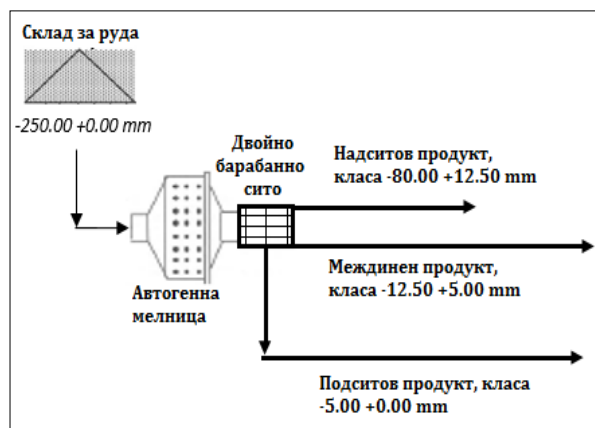
Минераложкият анализ показва, че в рудната проба от вторични кварцити основните нерудни минерали са кварц и глинести минерали (серицит и глини). Рудните минерали са представени от пирит и първични (халкопирит) и вторични (халкоцит и ковелин) медни сулфиди. Количеството на рудните минерали нараства с намаляване на размера на класата. Под 0.100 mm се наблюдава добро разкриване на рудните минерални фази. При аргилизитите е налице голямо количество глинест компонент. Второстепенните нерудни минерали са плагиоклаз, гипс и хлорит. Рудните минерали са ориентирани към фините класи. Доминиращ меден минерал е халкопиритът, част от него е окислен до борнит, ковелин и халкоцит. В пропилитовата съставка основното количество мед е представено от медни

сулфиди с първичен произход – халкопирит и борнит. Добро разкриване на медните минерали се наблюдава във фракциите под 0.100 mm. Минераложкият и химичният анализ на всички рудни проби показват високо съдържание на мед в глинестата фракция.



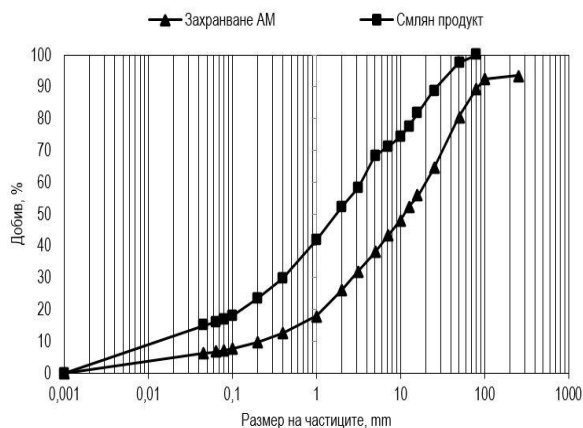
Фиг. 3. Зърнометрична характеристика на трите типа опробвани руди

От проведеното детайлно опробване и анализ на заложените технологични параметри в методиката за опробване на отделение „Дезинтеграция“ може да се заключи, че отделението работи при производителност над средната заложена по работен проект за 2014 година (Фиг. 4).



Фиг. 4. Схема на автогенно смилане и контролно пресяване в отделение „Дезинтеграция“ на обогатителна фабрика „Асарел“

Сравнението на зърнометричния състав на характерни класи в рудата, постъпваща за преработка в автогенните мелници (АМ) показва, че тя е с идентично зърнометрично разпределение за периода на опробване. В захранването на отделението няма голяма разлика в едрината на постъпващата руда. Установява се високо съдържание на ситни ($-5.00 + 0.00$ mm) и фини класи ($-0.100 + 0.00$ mm) в рудата, което оказва влияние върху процеса автогенно смилане. Съдържанието на класа $+80.00$ mm ($+100.00$ mm) в рудата е в границите на 6.00 до 12.00 %, благодарение на което в процеса не се проявява излишък на „мелещи“ тела. На фигура 5 са представени зърнометричните характеристики на рудата, постъпваща на автогенно смилане и на смляната руда, захранваща двойното барабанно сито.



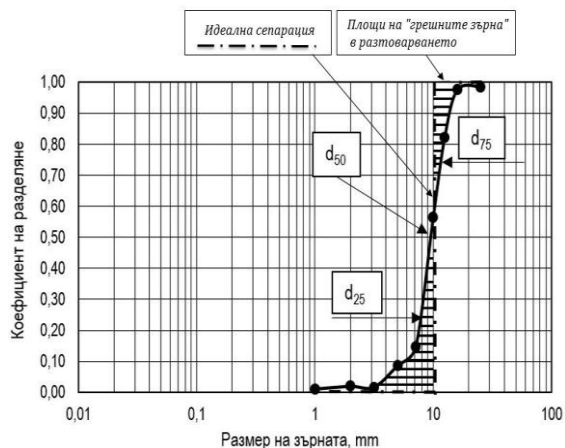
Фиг. 5. Зърнометрично разпределение на частиците в захранващия АМ и смления от АМ продукти

Установено е, че съдържанието на твърда фаза в пулпа на мелниците оказва съществено влияние върху процеса на смилане, като при по - плътен пулп смилането се влошава. По-висока степен на смилане в автогенните мелници се постига, когато в захранващата руда сумарният добив на по - едрите класи в захранването е по-висок и се поддържа съдържание на твърда фаза в пулпа на мелницата в оптималните граници 60.00 - 65.00 %.

Постигат се значителни ефективности на смилане по разчетни класи - 80.00 + 12.50 mm и - 12.50 + 5.00 mm.

Анализът на зърнометричния състав на продуктите получени след пресяване върху двойната барабанна ситова повърхност, както и въз основа на определената едрина на разделяне и количествата на „грешните“ зърна за изследваните продукти, показват значително по-високата ефективност на разделяне на вътрешната пресевна повърхност.

На фигура 6 по-долу е показана разделителната крива за вътрешната пресевна повърхност на двойното барабанно сито – 12.50 mm. Разделителната едрина по d_{50} за пресевната повърхност е приблизително 9.80 mm.



Фиг. 6. Разделителна крива за вътрешната пресевна повърхност – 12.50 mm

Производителността в корпус „Средно и ситно трошене“ е над средното натоварване заложено в работния проект за 2014 год.

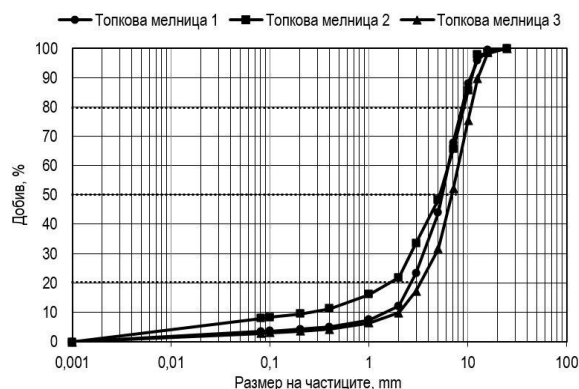
Установеният зърнометричен състав на продуктите, преди и след пресяване в двуедовата вибрационна пресевна уредба, както и ефективностите на пресяване показват, че:

Пресяването по размер 10.00 mm (горна ситова повърхност) е достатъчно ефективно, но стойността на този показател вероятно може да се повиши с оптимално поддържане на пресевните повърхности.

Пресяването по размер 3.00 mm (долна пресевна повърхност) е ефективно, но контролирането на износването на горната пресевна повърхност, както и натоварването на вибрационното сито е от изключително важно значение.

Нововъведената схема на трошене (затворен цикъл „трошене - пресяване“) в корпус „Средно и ситно трошене“ осигурява повишаване на степента на трошене на конусните трошачки, съответно за средно и ситно трошене.

В периода на опробване на отделение „Мелнично“ средната производителност на изследваните топкови мелници е в съответствие със зададената в техническата характеристика на наличното оборудване. Рудата, постъпваща на смилане в опробваните топкови мелници е с близко до заложеното 90.00 % съдържание на класа - 10.00 +0.00 mm (Фиг. 7). Постига се относително едро смилане при невисоко съдържание на класа -0.100 +0.00 mm. За да се избегнат затрудненията в последващата операция на класиране в батериите хидроциклони, е необходимо да бъде постигнато постоянство в зърнометричния състав на смления продукт, съдържанието на твърда фаза и дебита.



Фиг. 7. Зърнометрична характеристика на изходната руда, постъпваща на смилане в топкови мелници № 1, 2 и 3.

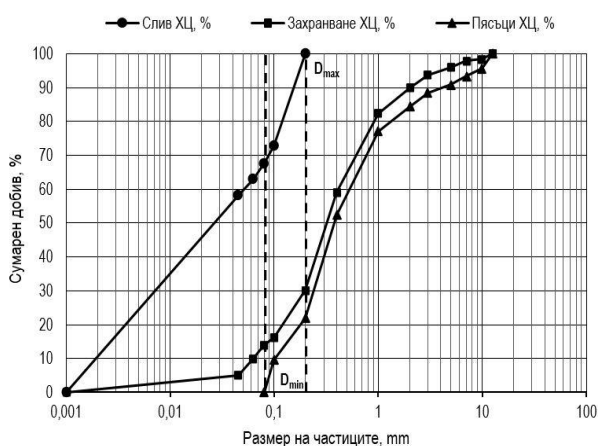
Зърнометричният състав на пясъците на хидроциклоните показва, че както съдържанието на разчетна класа (-0.100 +0.00 mm) така и съдържанието на твърда фаза, варира в широки граници. Високото съдържание на разчетна класа в пясъците на хидроциклоните, които се явяват циркуляционен товар на топковите мелници, намалява ефективността на смилане поради редуцирането на едрината на частиците в общото захранване на мелниците и повишаване вискозитета на пулпа в нея.

При съществуващото натоварване на мелниците, запълване с топков товар, честота на въртене на барабана, профил на облицовката, както и поддържаните технологични параметри се осигурява съдържание на

разчетна класа $-0.100 +0.00$ mm в границите от 16.00 до 25.00 %. Практиката за подобни руди показва, че е възможно, постигане на по-високо процентно съдържание на разчетна класа в продукта след смилане. Оттук следва, че е необходимо определяне, както на оптималните технологични параметри на работа на мелницата, така и изследването на други параметри като - профили на облицовката, топков товар с различен диаметър, маса и плътност (повърхностна и обемна), честота на въртене и др.

На фиг. 8 са показани зърнометричните разпределения на зърната в захранването, пясъците и слива на хидроциклона, работещ в затворен режим с барабанна топкова мелница. Големината на разстоянието (интервала на припокриване) между d_{min} за пясъците и d_{max} за прелива на хидроциклона служи за оценка на ефективността на работа на класиращото устройство.

За пясъците на хидроциклона се отчита $d_{min} = 0.045$ mm, а за прелива $d_{max} = 0.200$ mm, при което като първо приближение за разделително зърно може да се приеме средата на така определен интервал на припокриване $D_p = 0.140$ mm



Фиг. 8. Острота на разделяне на класиращото устройство

Зърнометричният състав, дебитът (m^3/h), количеството на готовия продукт и съдържанието на твърда фаза в преливите на хидроциклоните от различните режима на работа на мелничните агрегати, варират в известна степен. Това води до непостоянство в продукта, постъпващ във флотационно отделение, което би могло да се отрази върху технологичните показатели на флотационния процес.

Въз основа на извършените микроскопски анализи в отразена светлина на представителни проби от прелива на хидроциклоните (захранване на флотационно отделение), биха могли да се направят следните по-важни коментари:

Фазовият състав на медните минерали в отделените за анализ проби е изключително еднообразен – основно халкопирит, в малка степен вторични медни сулфиди, развити по халкопирит и незначително количество борнит с първичен произход; В едрите класи основната част от медните минерали е представена под формата на фини прораствания с нерудни минерали; С намаляване едрината на зърната процентно намалява количеството на

фино прорастналите медни минерали, като в същото време нараства количеството на разкритите и готови за флотация рудни минерални фази; Количеството на медно-окисните минерали е незначително, като те са съсредоточени във фините класи; Забелязва се тенденция на нарастване съдържанието на мед (%) във фините фракции в отделните за анализ проби.

Изводи

Разработените методики за опробване на цикъл „Зърнометрична подготовка на суровината“ в обогатителна фабрика „Асарел“ включващ основните технологични звена - Корпус „Едро трошене“, Отделение „Дезинтеграция“, корпус „Средно и ситно трошене“ и „Мелнично“ отделение, биха могли да бъдат прилагани в изследователската и производствена практика на специалистите в ОФ „Асарел“.

Въз основа на резултатите от извършения технологичен одит, анализ и оценка на получените данни, биха могли да се направят следните по-важни изводи и препоръки за подобряване разкриването на рудните минерални фази в технологичната верига на обогатителна фабрика „Асарел“:

Определяне оптималните параметри на процеса автогенно смилане с цел подобряване на неговата ефективност.

- ❖ Натоварване автогенните мелници (t/h);
- ❖ Зърнометричен състав на захранващата руда;
- ❖ Разход на вода, подавана в автогенните мелници;
- ❖ Съдържание на твърда фаза в пулпа.

Определяне оптималните параметри на процесите промиване и пресяване с цел подобряване на тяхната ефективност.

- ❖ Разход на вода, подавана на двойното барабанно сито;
- ❖ Промени в конструктивните елементи (площ на пресевните повърхности, размери на отворите и др.) на барабанното сито.

Изследване възможностите за фино смилане с валцова трошачка (HPGR) на някои определени продукти в корпус „Средно и ситно трошене“ с цел облекчаване работата на двуековата пресевна уредба.

Изследване влиянието на различни по форма и технически параметри (диаметър, повърхностна и обемна плътност, маса) смилаци среди, коефициент на запълване с топков товар, профил на облицовките, честота на въртене на мелниците.

Усъвършенстване режима на работа на част от топковите мелници, чрез въвеждане на предварителна класификация на продукта от отделение „Дезинтеграция“ ($-5.00 + 0.00$ mm) с цел, намаляване влиянието на променящите се параметри като: дебит, съдържание на твърда фаза и зърнометричен състав. С внедряването на предварителна класификация биха могли да се решат някои от следните технологични недостатъци:

- ❖ Заемане на полезен обем в топковата мелница чрез намаляване количеството на циркулационния товар;
- ❖ Пресмилане на разкрити минерални частици, водещо до проблеми в основна флотация;
- ❖ Намаляване средното време на престой на пясъците в мелницата, с което шламуването ще се намали и ще се увеличи производителността на мелницата по новообразуван разчетен клас;
- ❖ Внедряването на нова схема на работа на мелничния агрегат, състояща се в предварително класиране на продукта от „Дезинтеграция“, ще повиши ефективността и ще стабилизира работата на смилация и класирация апарати.

Литература

- Богданов, Б., Р. Богданова, *Последователност на формиране и характеристика на минералните парагенези в меднопорфирното находище Асарел. – Рудообразователни процеси и минерални находища*, 14-15, с. 22-34, 1981.
- Петрунов, Р., П. Драгов, Хр. Нейков, *Полиелементни (с As, Sn, V, Bi, Ag, Te, Ge, Se и др.) минерализации в меднопорфирното находище Асарел* - Сп. БГД, 52, 1, с. 1-7, 1991.
- Мочев, Д. Я: *Методи за определяне на технологичните характеристики на минералните суровини*, Изд. къща “Захлас”, ISSN 13104276, 2011.

Мочев, Д., И. Григорова, *Зърнометрична подготовка на суровините*. Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София, с. 422, 2013

Страшимиров, С., *Закономерности в разпределението на рудната минерализация в западната периферия на находище Асарел*. - Год. МГУ. 38, 1, с. 79 - 94, 1992.

François-Bongarçon, D., P. Gy, Critical aspects of sampling in mills and plants: a guide to understanding audits, *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 102 (8), pp. 481-484, 2002.

Gupta Ash., Yan, D.S., *Mineral processing design and operation: an introduction*, Elsevier, Amsterdam, Oxford, 2006, 693 p.

Holmes, R. J., Sampling and measurement – The foundation of accurate metallurgical accounting, In: *Processing Value Tracking Symposium*, pp. 101 – 107 (The Australian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne), 2002.

Holmes, R. J., Correct sampling and measurement – The foundation of metallurgical accounting, *Chemometric and Intelligent Laboratory Systems*, 74, pp. 71-83, 2004.

Rose, D., Meadows, D. G. & Westendorf, M. (2015). Increasing SAG mill capacity at the Copper Mountain mine through the addition of a pre-crushing circuit. Paper presented at the SME Annual Conference, Denver, USA, February 15-18 2015.

Статията е рецензирана от доц. М. Мочев и препоръчана за публикуване от кат. “Обогатяване и рециклиране на суровини”.